

ADAPTIVE NOISE CANCELING MENGUNAKAN ALGORITMA LEAST MEAN SQUARE (LMS)

Anita Nardiana, SariSujoko Sumaryono

ABSTRACT

Noise is inevitable in communication system. In some cases, noise can disturb signal. It is very annoying as the received signal is jumbled with the noise itself. To reduce or remove noise, filter lowpass, highpass or bandpass can solve the problems, but this method cannot reach a maximum standard. One of the alternatives to solve the problem is by using adaptive filter. Adaptive algorithm frequently used is Least Mean Square (LMS) Algorithm which is compatible to Finite Impulse Response (FIR). The positive result of this experiment can be seen from the value of Mean Square Error (MSE) and Signal to Noise Ratio (SNR).

Keyword : Noise, adaptive filter, Least Mean Square (LMS), Mean Square Error (MSE)

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sinyal adalah bagian penting dari sistem telekomunikasi, seperti pada sistem teknik pengolahan sinyal. Dalam tahun-tahun terakhir ini, banyak perhatian diberikan kepada teknik pengolahan sinyal digital dalam sistem telekomunikasi. Banyak aplikasi informasi yang kini dapat dengan mudah direkam, ditransmisi dan yang disimpan format digital. Hasilnya, pengolahan sinyal digital menjadi suatu alat modern yang penting. Pengolahan sinyal digital antara lain : perkiraan parameter karakteristik sinyal, penghapusan atau pengurangan *noise* yang tidak diinginkan dan transformasi sinyal ke dalam beberapa bentuk yang lebih informatif.

Dalam beberapa situasi dalam sistem telekomunikasi, jumlah *noise* yang merusak sinyal lebih besar daripada jumlah sinyal yang diinginkan. Sinyal akustik dapat dirusak oleh *noise* atau terdistorsi oleh gelombang komunikasi, atau dilemahkan oleh percakapan yang lain, dan hasil yang diterima adalah sinyal diinginkan yang tercampur dengan *noise*. Hal ini bisa saja diselesaikan dengan filter *lowpass*, *highpass* atau *bandpass* untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan, tetapi metode ini jarang mendapatkan

hasil optimum. Salah satu alternatif penyelesaian masalah sinyal terdistorsi oleh *noise* dapat diselesaikan dengan filter adaptif.

Filter adaptif adalah filter pengatur koefisien yang dapat beradaptasi untuk menyesuaikan terhadap perubahan statistik sinyal sehingga dapat mengoptimalkan sinyal dari distorsi. Salah satu algoritma filter adaptif yang sering digunakan adalah algoritma *Least Mean Square* (LMS), yang bisa diaplikasikan untuk filter adaptif *Finite Impulse Response* (FIR).

Algoritma *Least Mean Square* (LMS) untuk filter adaptif FIR digunakan untuk menghilangkan *noise* sehingga akan mendapatkan error yang paling kecil dari sinyal ditinjau dari *Mean Square Error* (MSE) dan SNR (*Signal to Noise Ratio*).

1.2. Permasalahan

Bagaimana cara mengurangi atau menghilangkan *noise* dengan menggunakan Filter Adaptif?

1.3. Pembatasan Masalah

1.3.1. Filter adaptif yang digunakan adalah *Finite Impulse Response* (FIR).

1.3.2. Data suara yang digunakan adalah data suara manusia yang direkam dan disimpan dalam berkas suara dengan format wav dengan durasi 1 detik dan 5 detik.

- 1.3.3. Panjang tapis yang digunakan adalah 2, 5, 7, 11 dan 15, sedang ukuran langkah adaptasi yaitu 0.1; 0.01 dan 0.005.

1.4. Tujuan

Mengurangi atau menghilangkan jumlah *noise* agar memperoleh keluaran berupa sinyal yang diinginkan dengan melihat *Mean Square Error* (MSE) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR).

1.5. Manfaat

Mengurangi atau menghilangkan jumlah *noise* sehingga mendapatkan sinyal yang diinginkan.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Noise

Noise dapat didefinisikan dengan sinyal yang tidak diinginkan yang bertentangan dengan komunikasi, pengukuran, atau pengolahan sinyal informasi. *Noise* adalah sinyal yang menyampaikan informasi mengenai sumber *noise*.

2.2. Filter Adaptif

Adaptif otomatis adalah sistem yang strukturnya dapat berubah atau disesuaikan dengan karakteristik atau hasilnya (berdasarkan pada kriteria yang diinginkan) untuk diperbaiki melalui lingkungannya.

Sistem adaptif biasanya mempunyai karakteristik berikut ini :

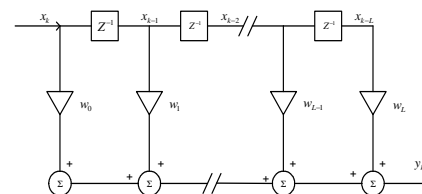
1. Dapat berubah secara otomatis dalam menghadapi perubahan lingkungan (nonstasioner) dan perubahan sistem.
2. Dapat dilatih untuk melakukan penyaringan khusus dan tugas pengambilan keputusan. Sintesis dari sistem mempunyai kemampuan untuk menjadi pandai seperti dapat diprogram dengan proses pelatihan. Karena sistem adaptif tidak membutuhkan prosedur sintesa yang rumit yang biasanya dibutuhkan pada sistem non-adaptif.
3. Sistem adaptif tidak membutuhkan cara sistesis rumit yang biasanya dibutuhkan sistem non adaptif. Meskipun begitu, sistem adaptif cenderung untuk "mampu mendesain sendiri".
4. Dapat memperkirakan suatu model karakteristik agar sesuai dengan keadaan baru

setelah dilatih oleh sejumlah kecil pelatihan sinyal atau pola.

5. Apabila panjangnya terbatas, sistem adaptif dapat memperbaiki diri sendiri, yaitu beradaptasi di sekitar jenis tertentu dari kesalahan internal.
6. Sistem adaptif biasanya dideskripsikan sebagai sistem non-linier dengan parameter time-varying.
7. Lebih kompleks dan sukar untuk menganalisis dibanding dengan sistem non adaptif, tetapi menawarkan kemungkinan tentang pencapaian sistem yang dapat ditingkatkan kinerjanya saat karakteristik sinyal input tidak dikenal atau *time varying*.

2.3. Finite Impulse Response (FIR)

Respon *Impuls* FIR adalah terbatas karena tidak ada umpan balik pada filter. Kesalahan numerik terjadi ketika implementasi filter FIR dalam perhitungan komputer terjadi terpisah dengan masing-masing perhitungan, filter FIR tidak 'mengingat' kesalahan terdahulu. Sebaliknya, bagian umpan balik filter IIR dapat menyebabkan kesalahan numerik campuran dengan perhitungan masing-masing karena kesalahan numerik umpan balik. Dampak dari hal ini adalah filter FIR diimplementasikan secara umum daripada filter IIR.



Gambar 2.1. Blok diagram dari bentuk langsung filter digital FIR

Persamaan yang sesuai dengan implementasi bentuk langsung FIR adalah :

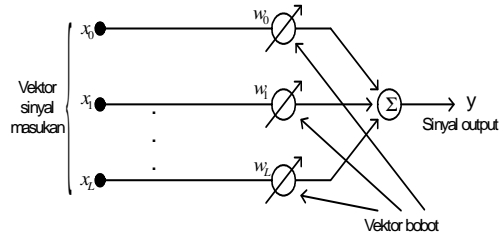
$$y_k = \sum_{n=0}^{L-1} w_{nk} x_{k-n} \quad k = 0, 1, \dots \quad (2.1)$$

2.4. Algoritma Least Mean Square (LMS)

Algoritma LMS adalah algoritma adaptif yang paling sederhana dan yang paling banyak digunakan. Algoritma ini digunakan untuk turunan pada permukaan dan dikenal dengan algoritma *Least mean square* (LMS). Algoritma ini

menggunakan perkiraan gradien khusus yang sesuai untuk *adaptive linear combiner*.

Adaptive linear combiner diterapkan pada dua cara utama, tergantung pada input yang tersedia apakah dalam bentuk paralel (*input jamak*) atau serial (*input tunggal*), yaitu :



Gambar 2.2. Bentuk umum *adaptive linear combiner*

$$\text{Input jamak } X_k = [x_{0k} \ x_{1k} \ \dots \ x_{Lk}]^T \quad (2.2)$$

$$\text{Input tunggal } X_k = [x_k \ x_{k-1} \ \dots \ x_{k-L}]^T \quad (2.3)$$

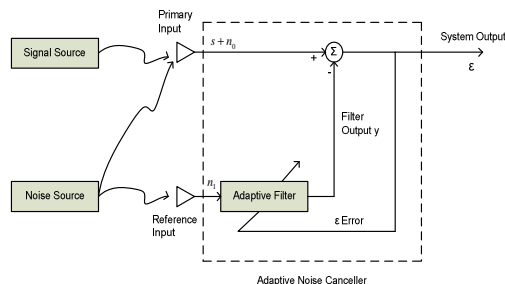
Keterangan :

X_k = vektor kolom dalam kedua kasus

k = indeks waktu

2.5. Adaptive Noise Canceling

Dasar *noise canceling* digambarkan pada gambar berikut:



Gambar 2.3. Konsep *Adaptive noise canceling*

Sinyal ditransmisikan melalui gelombang menuju sensor yang menerima sinyal tambahan dari *noise* n_0 . Kombinasi dari input utama sinyal dan *noise* $s + n_0$ menuju *canceler*. Sensor kedua menerima *noise* n_1 yang tidak dihubungkan dengan sinyal tetapi dihubungkan dalam beberapa cara yang tidak diketahui dengan *noise* n_0 . Sensor ini memberikan input referensi ke *canceler*. *Noise* n_1 difilter untuk menghasilkan output y yang merupakan replika tertutup dari n_0 . Output ini dikurangkan dengan input utama $s + n_0$ untuk menghasilkan sistem output $s + n_0 - y$.

Salah satu karakteristik dari gelombang dimana *noise* ditransmisikan untuk sensor utama dan referensi pada umumnya adalah desain filter

yang mampu mengubah n_1 sampai $y = n_0$. Output filter kemudian dikurangkan dari masukan utama, dan sistem output menjadi sinyal sendiri. Karakteristik jalur transmisi diasumsikan bukan sesuatu yang alami, menggunakan filter tertentu adalah tidak mungkin. Lebih dari itu, meskipun jika memungkinkan untuk menggunakan filter tertentu, karakteristiknya harus disesuaikan dengan ketepatan yang sulit untuk dicapai, dan memperkecil kesalahan yang mengakibatkan meningkatkan daya *noise*.

Dalam sistem yang ditunjukkan pada gambar, input referensi diproses dengan filter adaptif secara otomatis melakukan penyesuaian respon impulsnya melalui algoritma rata-rata terkecil, seperti algoritma *Least Mean Square* (LMS) yang bereaksi tergantung pada kesalahan sinyal, diantaranya pada output filter. Dengan algoritma yang sesuai, filter dapat beroperasi mengubah keadaan dan dapat mengatur kembali keadaannya secara terus menerus untuk meminimalkan kesalahan sinyal.

Dalam sistem *noise canceling*, tujuan praktisnya adalah untuk menghasilkan sistem output $s + n_0 - y$ yang terbaik dalam rata-rata terkecil dalam sinyal s . Tujuan ini adalah memenuhi dengan umpan balik sistem output untuk filter adaptif dan penyesuaian filter melalui algoritma adaptif untuk meminimalkan keseluruhan sistem daya output. Dalam sistem *adaptive noise canceling*, sistem output bertindak sebagai kesalahan sinyal untuk proses adaptif.

Diasumsikan bahwa s , n_0 , n_1 dan y adalah stasioner secara statistik dan bernilai nol. Diasumsikan bahwa s tidak dihubungkan dengan n_0 dan n_1 dan n_1 dihubungkan dengan n_0 , maka outputnya adalah :

$$\mathcal{E} = s + n_0 - y \quad (2.4)$$

Sehingga diperoleh:

$$\mathcal{E}^2 = s^2 + (n_0 - y)^2 + 2s(n_0 - y) \quad (2.5)$$

Reasiasi bahwa s tidak dihubungkan dengan n_0 dan dengan y adalah:

$$E[\mathcal{E}^2] = E[s^2] + E[(n_0 - y)^2] \quad (2.24)$$

Sinyal $E[\mathcal{E}^2]$ akan dipengaruhi oleh filter disesuaikan untuk meminimalkan $E[\mathcal{E}^2]$. Output minimum adalah :

$$E_{\min}[\mathcal{E}^2] = E[s^2] + E_{\min}[(n_0 - y)^2] \quad (2.6)$$

Ketika filter menyesuaikan, $E[\mathcal{E}^2]$ akan minimum, sehingga $E[(n_0 - y)^2]$ juga akan minimum. Output filter y adalah perkiraan rata-rata terkecil terbaik dari *noise* utama. Ketika $E[(n_0 - y)^2]$ adalah minimal, $E[(\mathcal{E} - s)^2]$ juga akan minimal, karena :

$$(\mathcal{E} - s) = (n_0 - y) \quad (2.7)$$

Penyesuaian atau adaptasi filter untuk meminimalkan kesalahan output adalah serupa menyebabkan output \mathcal{E} menjadi perkiraan terbaik rata-rata dari sinyal s untuk memberikan struktur dan penyesuaian dari filter adaptif dan untuk memberikan input referensi.

Output \mathcal{E} biasanya terdiri dari sinyal s dan *noise*. Karena pengecilan $E[\mathcal{E}^2]$ akan memperkecil $E[(n_0 - y)^2]$, pengecilan keseluruhan output akan memperkecil keluaran *noise* dan karena sinyal dalam output tetap, memperkecil keseluruhan output akan memperbesar perbandingan sinyal dengan *noise*.

Keluaran paling kecil adalah $E_{\min}[\mathcal{E}^2] = E[s^2]$. Ketika ini tercapai, $E[(n_0 - y)^2] = 0$. oleh karena itu, $y = n_0$ dan $\mathcal{E} = s$. Dalam hal ini, memperkecil output menyebabkan sinyal output bebas dari *noise*.

Dengan kata lain, ketika input referensi sepenuhnya tidak dihubungkan dengan input utama, filter akan mematikan sendiri dan *noise* output tidak akan bertambah. Dalam hal ini, filter output y dihubungkan dengan input utama. Outputnya adalah :

$$E[\mathcal{E}^2] = E[(s + n_0)^2] + E[y^2] \quad (2.8)$$

Memperkecil daya keluaran memerlukan $E[y^2]$ kecil, yang terpenuhi dengan membuat semua bobot nol, sehingga $E[y^2]$ menjadi nol.

Ini dapat diperluas menjadi kasus yang berisi input utama dan referensi, sebagai tambahan terhadap n_0 dan n_1 , *noise* acak adaptif yang tidak dihubungkan dengan yang lainnya dan dengan s , n_0 dan n_1 .

2.6. Tolok Ukur Keberhasilan Adaptive noise canceling

Keberhasilan suatu proses *adaptive noise canceling* dapat ditentukan berdasarkan berdasarkan kualitas suara yang dihasilkan, SNR (*Signal to noise ratio*), MSE (*Mean Square Error*).

SNR (*Signal to Noise Ratio*) merupakan perbandingan antara daya signal asli dan derau. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai :

$$\text{SNR input} = \left(\frac{\text{daya sinyal input}}{\text{daya noise input}} \right)^2 \quad (2.9)$$

$$\text{SNR output} = \left(\frac{\text{daya sinyal output}}{\text{daya noise output}} \right)^2 \quad (2.10)$$

MSE (*Mean Square Error*) memperlihatkan perbedaan rata-rata antara sinyal asli dengan sinyal yang dihasilkan setelah proses penghapusan dilakukan. Untuk menentukan nilai MSE digunakan rumus :

$$\text{MSE} = E \left[\sum_m (d - e)^2 \right] \quad (2.30)$$

Dengan d adalah sinyal yang diinginkan sedangkan y adalah sinyal error.

Selain menggunakan tolok ukur MSE dan SNR, penilaian keberhasilan juga dapat diketahui dengan memperdengarkan suara output kepada responden. Pada tugas akhir ini akan mengambil responden sebanyak 10 orang.

3. Perancangan Sistem

3.1. Perangkat Perancangan

3.1.1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan adalah :

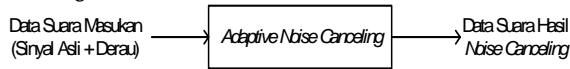
- Komputer prosesor IP 2,26 GHz.
- RAM 256 MB.
- Soundcard
- Flash Disc
- Mikropon
- Speaker

3.1.2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah Windows XP dan program MATLAB 6.5.

3.2. Adaptive Noise Canceling menggunakan Algoritma Least Mean Square

Gambaran umum proses *adaptive noise canceling*:



Gambar 3.1. Gambaran umum *Adaptive Noise Canceling*

Sedangkan konsep *adaptive noise canceling* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Pada tugas akhir ini membuat 5 kondisi penelitian, yaitu :

1. Kondisi 1 : sinyal informasi, sinyal *noise* dan sinyal masukan dibuat dalam bentuk simulasi dengan durasi 1 detik.
2. Kondisi 2 : sinyal informasi dibuat dengan proses rekaman, sinyal *noise* dibuat dengan simulasi, sedangkan sinyal masukan penambahan dalam bentuk matrik antara keduanya, semua berdurasi 1 detik.
3. Kondisi 3 : sinyal informasi, sinyal *noise* dan sinyal masukan dibuat dengan proses rekaman dengan durasi 1 detik.
4. Kondisi 4 : sinyal informasi simulasi, sedangkan sinyal *noise* dan sinyal masukan dibuat dengan proses rekaman dengan durasi 5 detik.
5. Kondisi 5 : sinyal informasi, sinyal *noise* dan sinyal masukan dibuat dengan proses rekaman dengan durasi 5 detik.

Tahap-tahap penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Data yang menggunakan sinyal simulasi langsung dibuat pada program Matlab. Sedangkan untuk data yang direkam, berkas suara yang telah disimpan dalam format WAV kemudian dibaca.
2. Pencampuran antara sinyal informasi dengan sinyal *noise* sehingga diperoleh sinyal *noise* yang merupakan masukan dari sistem.
3. Menentukan nilai panjang tapis yaitu 2, 5, 7, 11 dan 15, sedangkan untuk konstanta ukuran langkah adaptasi (μ) adalah 0.1; 0.01; dan 0.005.
4. Untuk tiap-tiap sampel kerjakan langkah 5 sampai 7.
5. Perhitungan keluaran filter :

$$y_k = \sum_{n=0}^L w_{nk} x_{k-n}$$

6. Perhitungan *Mean Square Error* (MSE) :

$$E \left[\sum_m x - y^2 \right]$$

7. Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) :

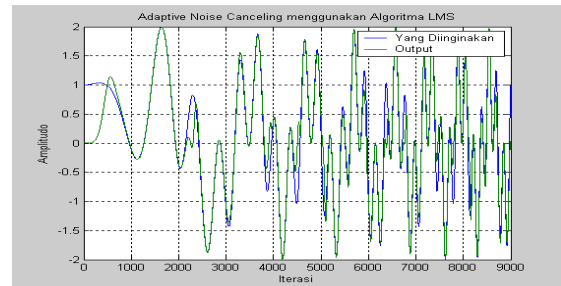
$$\text{SNR input} = \left(\frac{\text{daya sinyal input}}{\text{daya noise input}} \right)^2$$

$$\text{SNR output} = \left(\frac{5 \times \text{daya sinyal output}}{\text{daya noise output}} \right)^2$$

4. Hasil dan Pembahasan

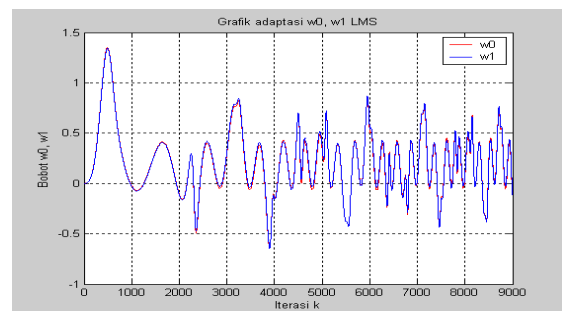
4.1. Grafik Hasil Pemfilteran

- a. Kondisi 1

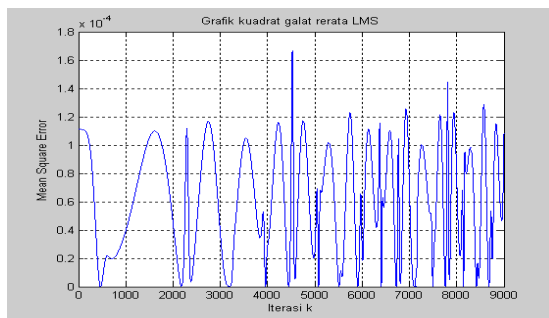


Gambar 4.1. *Adaptive noise canceling* menggunakan algoritma LMS

Gambar 4.1 adalah adalah sinyal yang diinginkan yaitu gabungan antara sinyal informasi dan sinyal *noise*, sedangkan outputnya dengan cepat dapat mengikuti bentuk sinyal yang diinginkan.



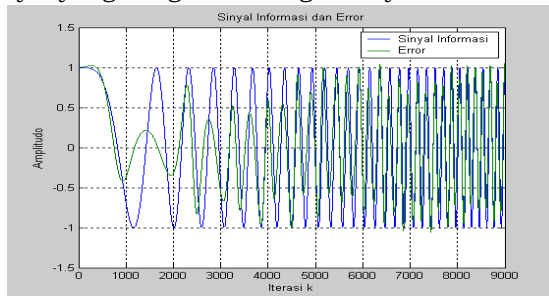
Gambar 4.3. Grafik adaptasi w_0 dan w_1



Gambar 4.4. Grafik galat kuadrat rerata

Perubahan bobot w_0 dan w_1 yang tidak begitu besar menjadikan grafik perbandingan antar keduanya hampir sama.

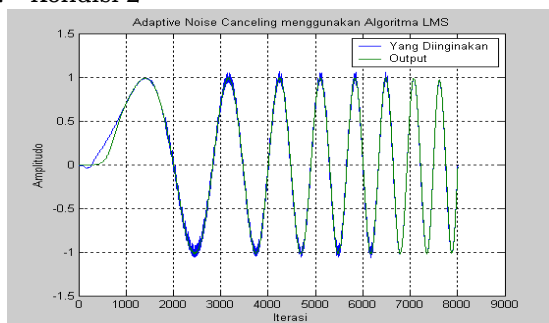
Grafik 4.4 memperlihatkan galat dari pengolahan sinyal, yaitu kuadrat dari selisih sinyal yang diinginkan dengan sinyal error.



Gambar 4.5. Grafik sinyal informasi dan error

Pada Gambar 4.5, sinyal error dapat melakukan adaptasi sesuai dengan sinyal informasi. Selama waktu tersebut koefisien bobot berubah menyesuaikan dengan sinyal informasi.

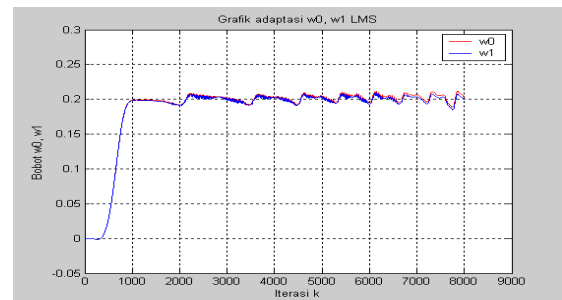
b. Kondisi 2



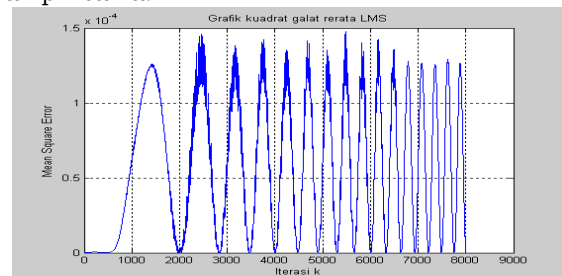
Gambar 4.6. Adaptive noise canceling menggunakan algoritma LMS

Gambar 4.6 adalah adalah sinyal yang diinginkan yaitu gabungan antara sinyal informasi yang dibuat melalui proses rekaman dan sinyal *noise* simulasi. Terlihat bahwa

outputnya dengan cepat dapat mengikuti bentuk sinyal yang diinginkan.

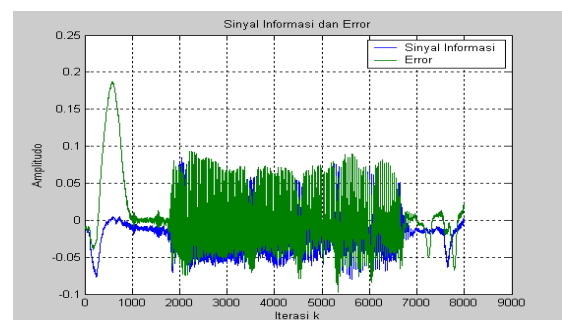
Gambar 4.8. Grafik adaptasi w_0 dan w_1

Gambar 4.8 memperlihatkan perubahan bobot w_0 dan w_1 yang tidak begitu besar menjadikan grafik perbandingan antar keduanya hampir sama.



Gambar 4.9. Grafik galat kuadrat rerata

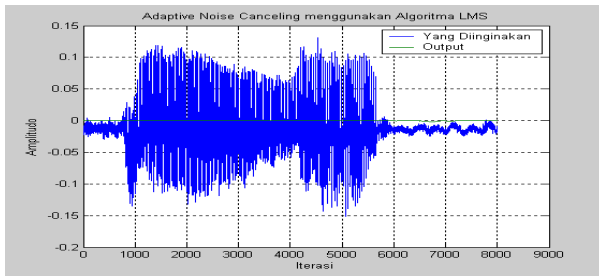
Grafik 4.9 memperlihatkan galat dari pengolahan sinyal, yaitu kuadrat dari selisih sinyal yang diinginkan dengan sinyal error.



Gambar 4.10. Grafik sinyal informasi dan error

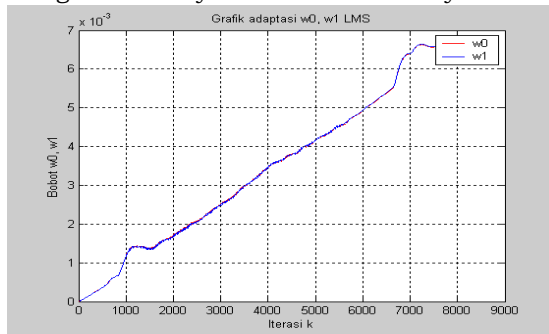
Pada Gambar 4.10. memperlihatkan sinyal error yang pada awalnya sulit untuk melakukan adaptasi, tetapi hasilnya setelah adaptasi kurang maksimal.

c. Kondisi 3



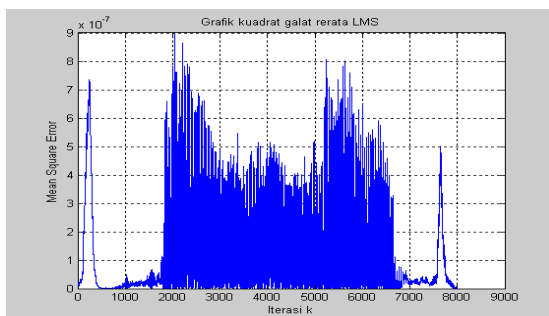
Gambar 4.11. Adaptive noise canceling menggunakan algoritma LMS

Gambar 4.11. adalah sinyal yang diinginkan yaitu gabungan antara sinyal informasi yang dibuat melalui proses rekaman dan sinyal *noise* yang juga dibuat dengan proses rekaman. Terlihat bahwa outputnya tidak bisa mengikuti bentuk sinyal yang diinginkan yang merupakan gabungan dari sinyal informasi dan sinyal *noise*.



Gambar 4.13. Grafik adaptasi w_0 dan w_1

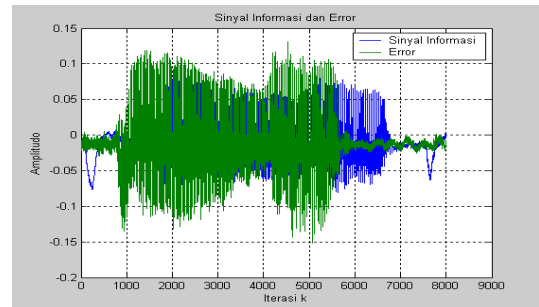
Gambar 4.13. memperlihatkan perubahan bobot w_0 dan w_1 yang tidak begitu besar menjadikan grafik perbandingan antar keduanya hampir sama.



Gambar 4.14. Grafik galat kuadrat rerata

Gambar 4.14. memperlihatkan galat dari pengolahan sinyal, yaitu kuadrat dari selisih sinyal yang diinginkan dengan sinyal error. Perubahan grafik pada iterasi 200 dan 7000

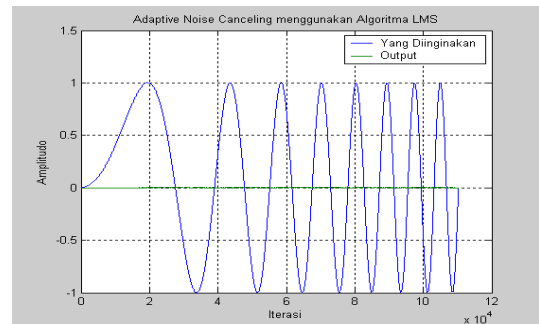
karena selisih antara sinyal yang diinginkan dan sinyal error yang berubah drastis sehingga errornya pun berubah dengan drastis.



Gambar 4.15. Grafik sinyal informasi dan error

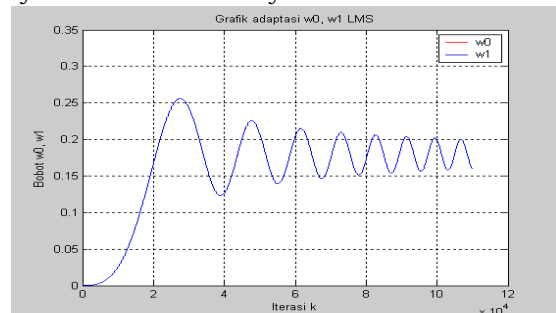
Pada Gambar 4.15. memperlihatkan sinyal error yang pada awalnya sulit untuk melakukan adaptasi, tetapi hasilnya setelah beradaptasi kurang maksimal.

d. Kondisi 4



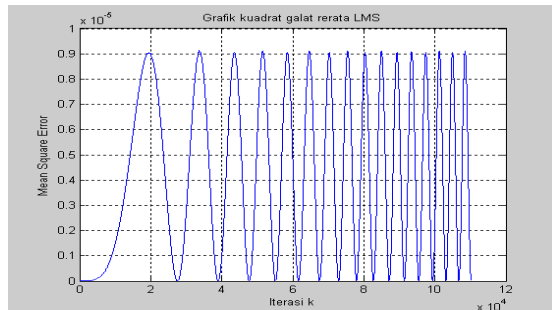
Gambar 4.16. Adaptive noise canceling menggunakan algoritma LMS

Gambar 4.16. adalah adalah sinyal yang diinginkan yaitu gabungan antara sinyal informasi simulasi dan sinyal *noise* yang dibuat dengan proses rekaman. Terlihat bahwa outputnya tidak bisa mengikuti bentuk sinyal yang diinginkan yang merupakan gabungan dari sinyal informasi dan sinyal *noise*.



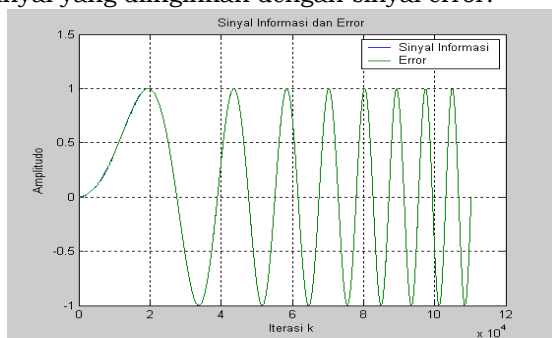
Gambar 4.18. Grafik adaptasi w_0 dan w_1

Perubahan bobot w_0 dan w_1 yang tidak begitu besar menjadikan grafik perbandingan antar keduanya hampir sama.



Gambar 4.19. Grafik galat kuadrat rerata

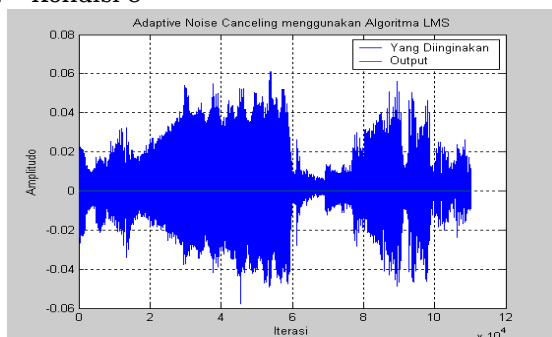
Grafik 4.19 memperlihatkan galat dari pengolahan sinyal, yaitu kuadrat dari selisih sinyal yang diinginkan dengan sinyal error.



Gambar 4.20. Grafik sinyal informasi dan error

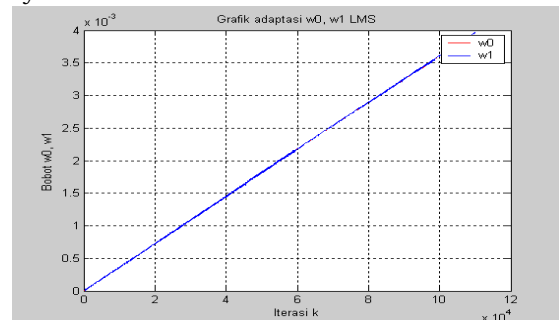
Pada Gambar 4.20, sinyal error dapat melakukan adaptasi sesuai dengan sinyal informasi. Selama waktu tersebut koefisien bobot berubah menyesuaikan dengan sinyal informasi.

e. Kondisi 5



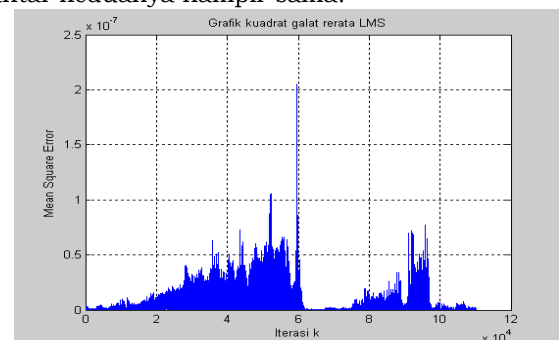
Gambar 4.21. Adaptive noise canceling menggunakan algoritma LMS

Gambar 4.21. adalah sinyal yang diinginkan yaitu gabungan antara sinyal informasi simulasi dan sinyal *noise* yang dibuat dengan proses rekaman. Terlihat bahwa outputnya tidak bisa mengikuti bentuk sinyal yang diinginkan yang merupakan gabungan dari sinyal informasi dan sinyal *noise*.



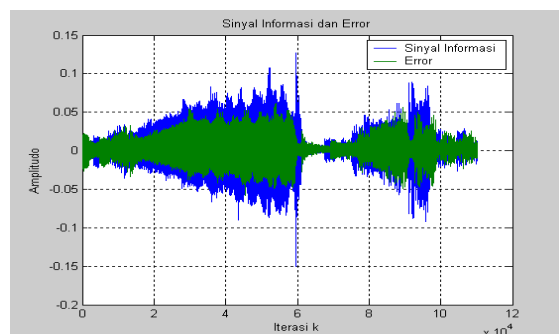
Gambar 4.23. Grafik adaptasi w_0 dan w_1

Perubahan bobot w_0 dan w_1 yang tidak begitu besar menjadikan grafik perbandingan antar keduanya hampir sama.



Gambar 2.24. Grafik galat kuadrat rerata

Grafik 2.24 memperlihatkan galat dari pengolahan sinyal, yaitu kuadrat dari selisih sinyal yang diinginkan dengan sinyal error.



Gambar 4.25. Grafik sinyal informasi dan error

Pada Gambar 4.25, sinyal error dapat melakukan adaptasi sesuai dengan sinyal

informasi. Selama waktu tersebut koefisien bobot berubah menyesuaikan dengan sinyal informasi.

Pada Gambar 4.1 dan 4.6, sinyal yang diinginkan dapat dengan mudah mengikuti bentuk sinyal input, sedangkan pada Gambar 4.11 sinyal output tidak bisa mengikuti bentuk sinyal input. Hal ini dikarenakan sinyal *noise* pada kondisi 1 dan 2 (Gambar 4.1 dan 4.6) adalah simulasi, jadi dapat dengan mudah outputnya mengikuti bentuk sinyal yang diinginkan. Sedangkan pada kondisi 3 (Gambar 4.11), *noise* dibuat dengan proses rekaman, jadi ada *noise* dari luar yang tercampur dengan sinyal yang diinginkan, sehingga outputnya sulit beradaptasi.

Pada Gambar 4.5 dan 4.10, terlihat bahwa sinyal error memerlukan beberapa saat untuk beradaptasi sebelum akhirnya dapat mengikuti bentuk sinyal informasi. Selama waktu beradaptasi tersebut, filter mengubah koefisien sehingga meminimalkan error. Tetapi pada Gambar 4.15 sinyal error mengalami kesulitan untuk beradaptasi. Sinyal *noise* yang direkam telah terkontaminasi oleh suara di sekitar lingkungan selama proses perekaman, sehingga sinyal *noise* tidak asli. Karena itulah, maka outputnya sulit untuk melakukan adaptasi.

Pada kondisi 4, terlihat pada Gambar 4.20 bahwa sinyal error dapat mengikuti bentuk sinyal informasi dengan baik karena sinyal informasi berupa simulasi sehingga bersih dari *noise* yang mungkin terekam pada sinyal informasi yang melalui proses rekaman.

Pada kondisi 5, terlihat pada Gambar 4.25 bahwa sinyal error mempunyai bentuk sama tapi amplitudo lebih rendah. Pada kondisi 3, error sulit beradaptasi, yaitu pada Gambar 4.15.

4.2. Nilai Mean Square Error (MSE)

Tabel 4.1. Mean Square Error (MSE)

μ	Panjang Tapis	Mean Square Error		
		Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3
0.1	2	5.93E-01	4.69E-01	9.43E-04
	5	5.63E-01	4.69E-01	9.13E-04
	7	5.56E-01	4.69E-01	9.02E-04
	11	5.48E-01	4.69E-01	8.88E-04
	15	5.43E-01	4.69E-01	8.79E-04
0.01	2	8.48E-01	4.60E-01	9.78E-04
	5	7.24E-01	4.66E-01	9.71E-04
	7	6.80E-01	4.67E-01	9.66E-04
	11	6.33E-01	4.68E-01	9.58E-04
	15	6.10E-01	4.68E-01	9.51E-04
0.005	2	9.05E-01	4.51E-01	9.80E-04
	5	8.22E-01	4.62E-01	9.77E-04
	7	7.76E-01	4.64E-01	9.74E-04
	11	7.12E-01	4.66E-01	9.70E-04
	15	6.72E-01	4.66E-01	9.65E-04

Dari grafik di atas, terlihat bahwa semakin besar nilai panjang tapis yang digunakan, nilai MSE yang dihasilkan secara keseluruhan akan semakin kecil, kecuali pada kondisi 2 yang MSE-nya terlihat hampir tidak ada perubahan. Variasi nilai MSE yang naik karena selisih antara sinyal informasi yang diinginkan dan error bertambah besar. Semakin panjang tapis yang dipakai, nilai MSE-nya semakin kecil sehingga keluaran yang dihasilkan mendekati keinginan. Seharusnya, semakin kecil nilai μ , maka nilai MSE-nya akan semakin kecil. Tetapi pada percobaan ini, semakin kecil nilai μ maka semakin kecil nilai MSE sehingga dapat disimpulkan bahwa μ yang kinerjanya maksimal pada 0,1.

μ	Panjang Tapis	SNR					
		Kondisi 1		Kondisi 2		Kondisi 3	
		Input	Output	Input	Output	Input	Output
0.1	2	3.39E-01	5.86	0.0341	0.00638	1.1028	1.06E+03
	5	3.39E-01	3.78	0.0341	0.008	1.1028	1.66E+02
	7	3.39E-01	3.1559	0.0341	0.0104	1.1028	8.53E+01
	11	3.39E-01	2.4561	0.0341	0.0123	1.1028	3.56E+01
	15	3.39E-01	2.0573	0.0341	0.0123	1.1028	2.03E+01
0.01	2	3.39E-01	10.4716	0.0341	0.4886	1.1028	1.09E+05
	5	3.39E-01	8.2488	0.0341	0.0554	1.1028	1.74E+04
	7	3.39E-01	7.9663	0.0341	0.0187	1.1028	8.87E+03
	11	3.39E-01	7.1774	0.0341	0.0014	1.1028	3.59E+03
	15	3.39E-01	6.3675	0.0341	0.00197	1.1028	1.93E+03
0.005	2	3.39E-01	22.3409	0.0341	2.3964	1.1028	4.36E+05
	5	3.39E-01	9.4409	0.0341	0.2931	1.1028	6.98E+04
	7	3.39E-01	8.6869	0.0341	0.1333	1.1028	3.57E+04
	11	3.39E-01	8.3133	0.0341	0.0374	1.1028	1.45E+04
	15	3.39E-01	7.9347	0.0341	0.0109	1.1028	7.80E+03

4.3. Nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Tabel 4.2. Signal to Noise Ratio (SNR)

Dari tabel di atas, terlihat bahwa semakin besar nilai panjang tapis yang digunakan, maka nilai SNR yang dihasilkan akan semakin kecil. Demikian juga dengan nilai langkah adaptasi (μ), semakin kecil nilai μ , maka nilai SNR-nya akan semakin kecil. Hal ini tidak sesuai dengan teori bahwa semakin besar panjang tapis dan semakin kecil μ yang digunakan, nilai SNR seharusnya semakin besar. Dari tabel 4.2 dapat diambil kesimpulan bahwa panjang tapis yang kinerjanya paling baik adalah 2.

4.3. Penilaian Secara Subyektif

Pada percobaan ini diambil 10 sampel. Penilaian dilakukan dengan cara memperdengarkan suara antara sebelum proses pemfilteran dan setelah proses pemfilteran. Tabel di bawah ini adalah hasil dari percobaan yang menggunakan kondisi 5.

Hasil penilaian dibagi menjadi kategori yaitu perbandingan sebelum pemfilteran dan sesudah pemfilteran :

1. Tetap
2. Lebih baik

Tabel 4.4. Hasil penilaian responden

No.	Responden	Hasil penilaian
1.	Rifka	Lebih baik
2.	Rulis	Lebih baik
3.	Niken	Tetap
4.	Nunu'	Lebih baik
5.	Dian	Lebih baik
6.	Indri	Tetap
7.	Vita	Lebih baik
8.	Wiwik	Lebih baik
9.	Uni	Tetap
10.	Nurul	Lebih baik

7 dari 10 responden pada tabel 4.4 berpendapat bahwa suara hasil pemfilteran kualitasnya lebih baik daripada sebelum pemfilteran. Jadi, filter adaptif ini dapat dikatakan berhasil mengurangi jumlah noise.

5. PENUTUP

5.1 SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian program simulasi, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu

- 1) Nilai μ pada filter adaptif mempengaruhi nilai MSE dan SNR. Semakin kecil nilai μ , nilai MSE akan semakin kecil, sedangkan nilai SNR akan semakin besar.
- 2) Panjang tapis juga mempengaruhi nilai MSE maupun SNR. Semakin panjang tapis yang dipakai, nilai MSE akan semakin kecil, sedangkan nilai SNR akan semakin besar. Pada percobaan ini, kinerja maksimal dicapai saat panjang tapis 2, sehingga nilai SNR seterusnya akan cenderung turun.
- 3) Pada percobaan dengan noise simulasi, hasil yang diperoleh pola sinyal error dapat mengikuti sinyal informasi. Tetapi dengan noise rekaman, sinyal error kesulitan untuk mengikuti pola sinyal informasi, hal ini dikarenakan adanya suara (noise) sehingga sinyalnya terkontaminasi.
- 4) Pada penelitian ini, hasil yang paling baik dicapai saat percobaan dengan panjang tapis 5 dan μ 0.1.
- 5) Hasil penilaian 7 dari 10 responden menyatakan bahwa kualitas sinyal setelah pemfilteran lebih baik daripada sebelum pemfilteran sehingga percobaan ini dianggap berhasil.

5.2 SARAN

- 1) Pengembangan *noise canceling* dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma lain, seperti jaringan saraf tiruan dan algoritma genetik. Demikian juga dengan perangkat lunak yang digunakan dapat menggunakan bahasa pemrograman lain, seperti C++ atau Delphi.
- 2) Media perekam dan cara merekamnya harus diperhatikan karena akan mempengaruhi suara yang dihasilkan.
- 3) Gunakan ekstensi suara yang berbeda, seperti mp3, WMA, dll.

- 4) Durasi pada sinyal masukan hendaknya tidak terlalu lama, karena matlab kesulitan untuk mengeksekusi iterasi yang terlalu panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown and Hwang. 1997. *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filter*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Carlson, and Crilly. 2002. *Communication Systems*. New York : McGraw-Hill.
- Ghausi and Laker. 1981. *Modern Filter Design : Active RC and Switch Capacitor*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
- Proakis, John. 2001. *Digital Communication*. New York : McGraw-Hill.
- Proakis and Rader. 1992. *Advance Digital Signal Processing*. New York : Maxwell Macmillan Canada, Inc.
- Roden, M. R. 1985. *Analog and Digital Communication Systems*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
- Stearn, S. D., and David R. A. 1996. *Signal Processing Algorithms In Matlab*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
- Westall and Ip, S. F. A. 1993. *Digital Signal Processing in Telecommunication*. London : Chapman & Hall.
- Widrow, Bernard and Stearn, S. D. 1985. *Adaptive Signal Processing*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.

www.AF_direct.xilinx.com
<http://books.google.com>
<http://cnx.rice.edu>
<http://www.ee.duke.edu>
direct.xilinx.com

Biografi

Anita Nardiana, Mahasiswa Teknik Elektro
UNNES

SariSujoko Sumaryono, dosen Teknik Elektro
UGM